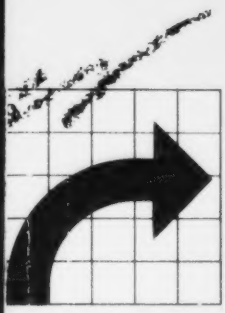
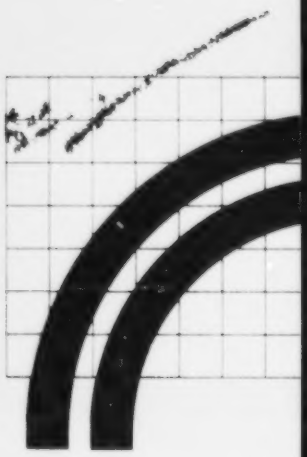
ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS



ANALYSE DES RÉSULTATS D'ESSAIS AVEC DIFFÉRENTS PROFILOMÈTRES

HÉLÈNE POULIN
LYNE VÉZINA



TECHNOLOGIE
ET INSTRUMENTATION

Québec

Analyse des résultats d'essais avec différents profilomètres

89-02952/

Dépôt légal, 3e trimestre 1987
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN : 2-550-18018-6

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports

FICHE ANALYTIQUE DE RAPPORT

Titre et sous-titre du rapport
Analyse des résultats d'essais avec différents profilomètres

N° du rapport Transports Québec
RTQ-87-09

Rapport d'étape ☐ Rapport final ☒ — An / Mois / Jour

N° du contrat

Auteur(s) du rapport
Hélène Poulin
Lyne Vézina

Date du début d'étude — **Date de fin d'étude**

Coût de l'étude

Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme)
Service de la statistique
700 boul. Saint-Cyrille
Québec QC
G1R 5H1

Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)
Ministère des Transports
Direction de la recherche
700 boul. Saint-Cyrille
Québec QC

But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires

Le but de l'étude est de déterminer entre 4 types de profilomètres celui qui possède la plus faible variabilité, puis de déterminer également le gain de l'uni après la pose d'une couche d'usure ainsi que l'uniformité de la route.

Résumé du rapport

Cette étude démontre que la variabilité d'un appareil est constante à l'intérieur d'une section, mais qu'elle n'est pas la même pour toutes les sections analysées. Malgré ces faits, le roulemètre électronique, mesure kr, et le purd sont les appareils les moins variables, tandis que le roulemètre électronique, mesure sigma, est l'appareil le plus variable.

L'étude démontre en outre que la qualité de la route varie tout au long d'une section. Par contre, elle est plus uniforme après la pose de la couche d'usure qu'avant cette opération. Le roulemètre électronique, mesure kr, et le purd perçoivent la route de la même façon et ces appareils la perçoivent plus uniforme que les autres appareils. Le roulemètre électronique, mesure sigma, la perçoit la moins uniforme.

L'étude démontre enfin que tous les appareils indiquent qu'il y a amélioration de la qualité de la route sur une section. Le purd donne les meilleurs résultats. Il faut cependant noter que le roulemètre électronique n'a pas été testé sous cet aspect.

Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures	Nbre de tableaux	Nbre de références bibliographiques	Langue du document	Autre (spécifier)
58			28		☒ Français ☐ Anglais	

Mots-clés
profilomètre, roulemètre électronique, mesure kr, mesure sigma, mays, mays électronique, purd, qualité de la route, uniformité de la route, amélioration de la qualité de la route, couche d'usure.

Autorisation de diffusion
☐ Diffusion autorisée ☐ Diffusion interdite

Signature du directeur général — Date: 87 09 23

V-1773 (85-05)

Liminaire

Cette étude fait suite à des essais de profilométrie sur quatorze sections de routes, avant et après la pose d'une couche d'usure, durant l'été 1984. Quatre types d'appareil ont été utilisés. La demande originale fut faite au service des Relevés techniques par le service de l'Assurance de la qualité qui désirait savoir quel appareil est le plus approprié pour faire le relevé de l'uni des nouveaux revêtements avec le plus de précision possible. Les essais ont été dirigés par la division de l'Inventaire structural, puis une demande d'analyse des données recueillies fut faite au service de la Statistique, par monsieur Gérard Tessier de la Direction de la recherche.

Nous tenons à remercier messieurs Jean David et Richard Pagé pour leur collaboration à la réalisation de cette étude. De même, nous sommes reconnaissants envers Nancy Dupont et Dyann Bédard pour avoir corrigé la version finale de ce travail.

Avertissement

Il importe de noter que ce rapport est une synthèse de l'analyse des résultats obtenus à l'issue des essais réalisés avec différents profilomètres. Les détails complets de cette analyse sont contenus dans 9 documents séparés ou annexes que le lecteur pourra consulter au Centre de documentation du ministère des Transports.

Annexe A: Synthèse du nombre de données de base disponibles par rapport au plan de l'expérimentation et les données de base

Annexe B: Comment interpréter les résultats

Annexe C: Analyse détaillée des coefficients de variation estimant la variabilité de chacun des appareils

Annexe D: Identification des appareils et des types de route

Annexe E: Courbe de la qualité de la route à chaque essai par section, type de route et appareil pour les deux directions superposées

Annexe F: Illustration des regroupements des chaînages de même qualité par direction, section, type de route et appareil

Annexe G: Illustration de la qualité de route entre les deux essais, par direction, section, type de route et appareil

Annexe H: Profilométrie moyenne par chaînage, section, type de route et appareil à chaque essai, différence entre les essais et résultats du test sur cette différence

Annexe I: Illustration des regroupements des sections où le gain, suite à la pose de la couche d'usure, est le même par direction, section, type de route et appareil

Avant propos

Avant d'aborder l'étude comme telle, il importe de souligner que notre connaissance des profilomètres, de même que celle des différentes mesures prises par ceux-ci, reste encore limitée. Ceci nous entraîne à ne pas insister davantage sur certaines conclusions. Par exemple, dans le cas du roulemètre électronique, pour lequel deux mesures de profilométrie ont été prises, mesure kr et mesure sigma, les conclusions apparaissent diamétralement opposées: en prenant la mesure kr, l'appareil qualifie la route plus uniforme que tous les autres appareils tandis qu'avec la mesure sigma, l'appareil la qualifie la moins uniforme. Ce même appareil n'a pas la même variabilité pour les deux mesures. De plus, l'étude ne dit pas si deux appareils de même catégorie ont la même variabilité.

Le fait de ne pas avoir été impliqué dans la préparation et dans l'exécution du plan d'expérimentation a causé certaines difficultés: des hypothèses ont dû être faites qui nous laissent perplexes et d'autres facteurs reliés surtout à l'environnement ont pu influencer les résultats. Ces facteurs sont entre autres les suivants:

- les conditions d'utilisation d'un appareil (recalibration ou non des appareils à chaque changement de section);
- le temps écoulé depuis la dernière pose de la couche d'usure;
- l'épaisseur de la couche d'usure;
- le degré de qualité de l'infrastructure;
- la vitesse de détérioration de la route (l'achalandage des routes);
- les conditions atmosphériques;
- l'usure d'un profilomètre, surtout entre deux périodes d'essais (effet sur sa variabilité).

Ces facteurs auraient dû être contrôlés de façon très serrée pour éviter qu'ils n'influencent les résultats.

Il semble enfin qu'à la lumière des résultats obtenus, le purd (coût d'environ 42 000 $) et le roulemètre électronique, mesure kr, (coût d'environ 3 000 $), donnent des résultats à peu près équivalents. Notons cependant que le roulemètre électronique n'a pas été testé au deuxième essai, d'où il fut impossible de conclure quant au gain de l'uni pour cet appareil. De leur côté, le mays (coût d'environ 14 000 $) et le mays électronique (coût d'environ 20 000 $) donnent des résultats assez semblables. Quant au roulemètre électronique, mesure sigma, (coût d'environ 20 000 $) ses résultats diffèrent sensiblement des autres appareils.

Compte tenu de tous ces faits, du nombre important de données manquantes (celles analysées ne donnant pas de réponses claires), nous avons été empêchés d'en arriver à des conclusions claires et précises.

Table des matières

Page

Liminaire i
Avertissement iii
Avant-propos v
Table des matières vii
Liste des tableaux ix

1. Introduction 1
1.1 Objectifs généraux 1
1.2 Objectifs spécifiques 1
1.3 Description des appareils 4

2. Hypothèses de travail 6
2.1 Première hypothèse 6
2.2 Deuxième hypothèse 6
2.3 Troisième hypothèse 6

3. Variabilité des appareils 7
3.1 Variabilité entre les directions d'une même section 7
3.2 Variabilité entre les sections d'un même type de route 9
3.3 Variabilité entre les types de routes 14
3.4 Comparaison des appareils 16

4. Qualité et uniformité de la route 23
4.1 Sur un chaînage donné, la qualité de la route est-elle équivalente pour les deux directions? 23
4.2 Comparaison de la qualité des chaînages d'une section de route et degré d'uniformité des sections de route 26
4.3 Comparaison de la qualité des sections d'un type de route et degré d'uniformité des types de route 37
4.4 Comparaison de la qualité des types de route et degré d'uniformité de l'ensemble des routes 42
4.5 Comparaison entre les appareils 44

Table des matières (suite)

Page

5. Amélioration de la qualité de la route suite à la pose de la couche d'usure 46

5.1 Amélioration de la qualité de la route par section 46

5.2 L'amélioration de la qualité de la route est-elle équivalente pour toutes les sections d'un type de route? 47

5.3 L'amélioration de la qualité de la route est-elle équivalente pour tous les types de route? 51

5.4 Comparaison entre les appareils 51

6. Conclusion 54

Liste des tableaux

Page

Tableau 1: Fiche des appareils utilisés dans l'étude de profilométrie des couches d'usure 1984 5

Tableau 2: Sections où la différence entre les coefficients de variation de chaque direction est significative 8

Tableau 3a: Comparaison de la variabilité entre les sections pour chaque type de route, à l'essai 1, par appareil 11

Tableau 3b: Comparaison de la variabilité entre les sections pour chaque type de route, à l'essai 2, par appareil 12

Tableau 4: Comparaison de la variabilité entre les types de routes par essai, par appareil 15

Tableau 5: Comparaison de la variabilité entre les appareils, par type de route, par essai 18

Tableau 6a: Comparaison de la variabilité entre les appareils par section de route, pour les autoroutes, par essai 20

Tableau 6b: Comparaison de la variabilité entre les appareils par section de route, pour les routes principales, par essai .. 21

Tableau 6c: Comparaison de la variabilité entre les appareils par section de route, pour les routes secondaires, par essai .. 22

Tableau 7: Mesure de la profilométrie de la section pour la direction 1 24

Tableau 8: Mesure de la profilométrie de la section pour la direction 2 25

Liste des tableaux (suite)

Page

Tableau 9: Proportion de chaînes avec des mesures significativement différentes pour les deux directions 27

Tableau 10: Différences significatives ou non de la qualité de la route entre les deux directions 28

Tableau 11: Proportion de chaînages non-regroupés avec des chaînages consécutifs pour la direction 1 30

Tableau 12: Proportion de chaînages non-regroupés avec des chaînages consécutifs pour la direction 2 31

Tableau 13: Étendue des mesures moyennes par section, type de route, essai et appareil pour la direction 1 32

Tableau 14: Étendue des mesures moyennes par section, type de route, essai et appareil pour la direction 2 33

Tableau 15: Mesure de l'uniformité de la route par section, type de route, essai et appareil pour la direction 1 35

Tableau 16: Mesure de l'uniformité de la route par section, type de route, essai et appareil, à l'essai 1, pour la direction 2 36

Tableau 17a: Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 1, pour la direction 1 38

Liste des tableaux (suite)

Page

Tableau 17b: Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 1, pour la direction 2 39

Tableau 18a: Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 2, pour la direction 1 40

Tableau 18b: Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 2, pour la direction 2 41

Tableau 19: Comparaison de la qualité des types de route par direction, par essai, pour chaque appareil 43

Tableau 20: Proportion de chaînes avec une qualité différente aux deux essais, par section, type de route et appareil 48

Tableau 21: Amélioration de la qualité de la route (gain moyen) et sa marge d'erreur à un niveau de confiance de 95% 49

Tableau 22: Amélioration de la qualité de la route (gain moyen en %) et sa marge d'erreur à un niveau de confiance de 95% 50

Tableau 23: Corrélation entre la qualité de la route avant la pose de la couche d'usure et le gain moyen par section, type de route, direction et appareil 52

1. Introduction

1.1 Objectifs généraux

Les objectifs généraux de l'expérience menée par la Direction générale du génie visaient le choix du meilleur profilomètre et le choix des critères pour le contrôle de la qualité des poses de couche d'usure.

Le processus d'expérimentation a porté sur une sélection de 14 sections de route de longueur variable, dont 5 sections d'autoroutes, 5 sections de routes principales et 4 sections de routes régionales. Des mesures de profilométrie ont été prises à deux périodes différentes: en mai 84, avant la pose de la couche d'usure (essai 1), et en octobre 84, après la pose de la couche d'usure (essai 2). Quatre séries de mesure (quatre passages) furent prises sur les mêmes sections de routes, lecture prise à tous les 100 mètres dans chaque direction. Finalement, quatre profilomètres furent testés: un roulemètre électronique, un mays, un mays électronique, un purd.

Toutefois, il se peut que certaines données soient manquantes. Pour se faire une idée précise à ce niveau, il faudrait consulter l'annexe A qui contient une série de tableaux donnant tous les résultats de base. Un premier tableau donne d'abord un aperçu des données disponibles par rapport au plan de l'expérimentation.

1.2 Objectifs spécifiques

A ces objectifs généraux sont venus s'ajouter certains objectifs spécifiques, qui sont:

- l'analyse de la variabilité des appareils;
- l'analyse de la qualité et de l'uniformité de la route;
- l'analyse de l'amélioration de la qualité de la route (gain de l'uni), suite à la pose de la couche d'usure.

Ces trois objectifs spécifiques appellent quelques commentaires.

Variabilité des appareils

La variabilité d'un appareil se détermine par les différences observées entre les diverses mesures d'un même objet, considéré invariable d'une mesure à l'autre. Il faut donc pour chaque section, chaînage et direction, calculer la variation entre les mesures des quatre passages. La statistique à estimer n'est pas la moyenne de ces quatre mesures, mais l'écart-type de cette moyenne. Plus précisément, il s'agit du coefficient de variation, soit le rapport entre l'écart-type et la moyenne, qui fait disparaître les effets dûs à l'ordre de grandeur des mesures et qui donne l'importance relative des variations.

Compte tenu du grand nombre de valeurs qui peuvent être ainsi calculées, on peut supposer que le coefficient de variation aura lui-même une distribution normale avec une moyenne et un écart-type. Cette moyenne sera notre estimé pour la variabilité de l'appareil.

De plus, on doit s'attendre à ce que l'appareil fasse à peu près toujours la même erreur en mesurant des objets différents, ou lorsque les conditions d'utilisation changent. En effet, l'instrument de mesure peut produire une erreur et celle-ci ne doit pas être aléatoire, mais plutôt systématique. Par conséquent, il faut déterminer le coefficient de variation de la variabilité de chaque appareil, pour connaître l'importance des variations de celui-ci.

Pour chaque appareil, on peut donc calculer cette moyenne de coefficients de variation. Par la suite, il est possible de tester l'hypothèse des différences, significatives ou non entre les appareils, et classer les appareils selon leur variabilité.

Qualité et uniformité de la route

La qualité de la route est donnée directement par les mesures prises par chaque appareil. Comme il y a eu quatre passages au même endroit

dans une direction, la qualité de la route sera la moyenne de ces quatre mesures.

En premier lieu, il importe de vérifier si la qualité de la route est la même dans les deux directions d'un même chaînage. Par la suite, il faut analyser les fluctuations de la route, c'est-à-dire les différences entre les chaînages d'une même section. Il s'agit, à l'aide de l'analyse de variance, de tester l'hypothèse globale selon laquelle les différences observées entre les chaînages sont, ou non, significatives par rapport aux écarts observés entre les mesures pour un même chaînage.

Finalement, l'uniformité d'une section est estimée par le coefficient de variation, soit le rapport entre l'écart-type et la qualité moyenne de la route pour l'ensemble des chaînages.

Il est intéressant aussi de comparer les résultats des deux essais, c'est-à-dire de voir si la pose de la couche d'usure a eu une influence sur l'uniformité de la route et sur la qualité de la route.

Amélioration de la qualité de la route suite à la pose de la couche d'usure (gain de l'uni)

L'amélioration de la qualité de la route est la différence entre la qualité de la route après la pose de la couche d'usure par rapport à sa qualité avant la pose de la couche d'usure. La première hypothèse à tester est celle qui consiste à déterminer si le gain est supérieur à zéro pour chaque chaînage; par la suite, on estime le gain moyen pour la section et les marges d'erreur associées à ces estimés.

Dans un deuxième temps, il faut vérifier si les gains sont équivalents pour toutes les sections d'un même type de route. Donc, il s'agit de tester l'hypothèse de différences de gains non significatives entre les sections d'un même type de route; ensuite, s'il y a

lieu, on estimera les gains moyens pour l'ensemble des sections d'un même type de route et les marges d'erreur associées à ces estimés. Finalement, de façon similaire, il faudra déterminer si l'amélioration de la qualité de la route varie selon le type de route, puis estimer le gain moyen pour l'ensemble des routes, ainsi que la marge d'erreur de cet estimé.

1.3 Description des appareils

Avant d'aborder l'analyse statistique comme telle, il importe de décrire brièvement chacun des appareils et les différentes mesures prises par ceux-ci.

Le tableau 1 donne une description sommaire de ce qu'est chaque appareil ainsi que la façon dont chacun d'eux mesure la profilométrie de la route.

Tableau 1

Fiche des appareils utilisés dans
l'étude de profilométrie des couches d'usure 1984

Appareil	Propriété de	Véhicule	Système de référence	Capteur	Enregistrement	Résultats	Rythme de mesure	Souplesse	Coût
Roulemètre électronique (mesure Kr)	MTQ	Voiture	Suspension	Senseur avec système de tension	Compteurs	• 1/8" par km • KR	Globale pour la section	Faible	3 000 $
Roulemètre électronique (mesure sigma)	MTQ	Voiture	Suspension	Senseur avec tige codée	Compteurs	• 1/8" par km • KR	100 mètres	Bonne	20 000 $
Mays	MTQ	Remorque	Suspension	Senseur avec tige	Graphique	Longueur de papier en cm/km	100 mètres	Moyenne	14 000 $
Mays électronique	CRCAC	Remorque	Suspension	Senseur avec tige	• Graphique • Enregistrement électronique	Longueur de papier en cm/km	50 et 100 mètres	Bonne	20 000 $
Purd	HPI	Remorque	Roues	Accéléromètre	Enregistrement électronique	Root mean squared	20 et 50 mètres	Grande	42 000 $

2. Hypothèses de travail

Trois hypothèses de travail ont été retenues.

2.1 Première hypothèse

Les données, qui serviront de base à l'analyse permettant de porter un jugement en regard des objectifs spécifiques, doivent être représentatives de l'ensemble des données relatives aux phénomènes observés. Par conséquent, la première hypothèse sera que les sections de routes choisies sont représentatives de l'ensemble des sections en regard des éléments suivants:

a) type de routes;
b) différents facteurs pouvant influencer la détérioration des couches d'usure;
c) détérioration normale conduisant à la pose d'une couche d'usure;
d) phénomènes que l'on veut étudier;
e) type de mesures à prendre.

2.2 Deuxième hypothèse

La première hypothèse conduit à une deuxième, soit un choix aléatoire des unités échantillonnées. Cette deuxième hypothèse est fausse, mais on utilisera les méthodes statistiques comme si elle était vraie.(1)

2.3 Troisième hypothèse

La dernière hypothèse concerne principalement le temps qui s'est écoulé entre la pose de la couche d'usure et la prise des mesures. On fera l'hypothèse que dans le cas où cette durée ne serait pas constante, cette durée n'influence pas les résultats, c'est-à-dire que les différences observables dans la durée ne sont pas significatives en regard des phénomènes étudiés.

---

(1) Sans cette hypothèse, nous ne pouvons faire l'analyse statistique.

3. Variabilité des appareils

La variabilité d'un appareil, soit les différences observées entre les différentes mesures prises lors de chaque passage, est mesurée par le coefficient de variation.

Il nous faut donc calculer un coefficient de variation moyen pour l'ensemble des données, afin d'obtenir l'estimation recherchée.

Chaque appareil a été testé en mesurant des objets différents, c'est-à-dire des sections de routes de types différents, de même que deux directions pour une même section. Il faut d'abord vérifier si la variabilité de chaque appareil demeure constante, par exemple, pour

- les deux directions d'une même section;
- les sections d'un même type de route;
- les différents types de routes.

Ainsi, nous pourrons juger de la fiabilité des différents appareils, en plus d'obtenir une estimation pour la variabilité de chaque appareil.

Par la suite, il faudra comparer les appareils entre eux quant à leur variabilité.

3.1 Variabilité entre les directions d'une même section

L'hypothèse à vérifier est que les coefficients de variation des deux directions sont égaux. On observe qu'en général notre hypothèse est confirmée, c'est-à-dire que la variabilité d'un appareil est constante d'une direction à l'autre. Par contre dans quelques cas, cette différence est significative (niveau de confiance de 95%), car la variabilité pour un même appareil varie selon la direction de la route (cf. tableau 2). On ne note cependant aucune régularité pour ces exceptions. Ainsi, pour une section donnée, les différences n'ont pas été observées pour plus d'un appareil en général et les cas relevés ne sont pas les mêmes à l'essai 2 qu'à l'essai 1. Ces exceptions sont peut-être plus l'effet du hasard que de la réalité.

Tableau 2

Sections où la différence entre les coefficients de variation de chaque direction est significative

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1		N.A.		N.A.		N.A.	N.A.	N.A.		N.A.
2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
4		N.A.	X	X						N.A.
6	X	N.A.				X				N.A.
Routes provinciales										
Section no 1		N.A.					N.A.	N.A.		N.A.
2		N.A.	X				N.A.			N.A.
3		N.A.					N.A.			N.A.
4		N.A.			X		N.A.			N.A.
5		N.A.								N.A.
Routes secondaires										
Section no 1		N.A.		X		X	N.A.		X	N.A.
3		N.A.		X			N.A.			N.A.
5	X	N.A.		X		X	N.A.			N.A.
6		N.A.					N.A.		X	N.A.

Note: N.A.: non applicable.
X : différence significative entre les deux directions.

D'autre part, on remarque que le purd a toujours donné des coefficients de variation équivalents pour les deux directions.

Ceci nous amène à considérer que les appareils ont une variabilité constante d'une direction à l'autre, et l'on ne retiendra qu'un coefficient de variation par section et par appareil, qui sera calculé pour l'ensemble de la section sans tenir compte de la direction. Jusqu'ici, donc, tous les appareils semblent mesurer de façon constante. On notera que le mesurage se fait de façon continue d'une direction à l'autre pour une même section. Cette conclusion était donc attendue et le contraire aurait été surprenant.

3.2 Variabilité entre les sections d'un même type de route

Nous allons maintenant déterminer si les appareils ont une variabilité constante, de section de route en section de route. Il s'agit ici d'une étape importante. En effet, nous nous attendons à ce qu'un appareil garde la même variabilité lorsque nous mesurons deux sections de routes différentes. Il faut noter cependant que ces mesures ne se font pas nécessairement de façon consécutive, dans le temps et dans l'espace, et l'appareil subit possiblement un recalibrage entre les deux séries de mesure ou, à tout le moins, subit les effets d'un déplacement. Il s'agit donc de déterminer si, malgré ces opérations, chaque appareil garde une certaine constance dans sa façon de mesurer.

Dans un premier temps, on peut tester cette proposition **en vérifiant l'hypothèse suivante:**

> **"les différences observées entre les coefficients de variation de sections différentes ne sont pas significatives par rapport aux écarts observés entre les coefficients de variation d'une même section."**

Un test par l'analyse de la variance se révèle être positif et il indique que ces différences entre sections sont au moins plus importantes que les différences observées pour chaque section. Ces résultats se retrouvent dans les tableaux 3a et 3b; ils indiquent que la variabilité n'est pas toujours constante d'une section à l'autre, et ce autant à l'essai 1 qu'à l'essai 2. On pourra consulter l'annexe B pour savoir comment lire ces tableaux. Il faut donc en conclure que, d'une manière globale, les appareils ne mesurent pas de façon identique lorsque l'on va d'une section à l'autre. Le test est global, et nous nous devons d'analyser plus en détail tous ces résultats.

On notera principalement que les appareils roulemètre électronique, mesure sigma, mays et mays électronique semblent être plus variables, en ce sens que l'on obtient presque toujours au moins une section où la mesure de la variabilité de l'appareil est significativement différente des autres. Pour le purd, les résultats sont plus stables, du moins à l'essai 1.

D'autre part, nous nous devons de constater qu'à l'essai 2, il y a au moins autant de variations entre les résultats de sections différentes pour les deux mays, et plus de variations pour le purd, alors que pour le roulemètre électronique, nous n'avons aucune mesure au deuxième essai. Pour le moment, nous n'avons aucune indication sur les raisons faisant en sorte que le purd aurait été moins constant dans sa performance à l'essai 2.

En troisième lieu, il faut noter, un peu à l'encontre de ce qui précède, que malgré tout il y a une certaine constante dans les mesures prises par les différents appareils. En effet, il arrive très peu souvent que le degré de variabilité des appareils divise les sections d'un même type de routes en plus de deux groupes et le plus souvent, certaines sections se retrouvent dans les deux groupes. Cela veut dire que si l'on prend deux sections au hasard, il arrivera plus souvent que l'appareil aura été constant qu'il ne l'aura pas été.

Tableau 3a

Comparaison de la variabilité entre les sections pour chaque type de route, à l'essai 1, par appareil

Autoroutes

Roulemètre électronique mesure Kr				Roulemètre électronique mesure sigma				Mays			Mays électronique			Purd		
	C.V.		Section		C.V.		Section		C.V.	Section		C.V.	Section		C.V.	Section
	A	8.36	4		A	18.35	4		A	21.86	6		A	28.20	6	A	5.94	3
B	A	5.86	3		A	17.29	1		A	17.70	3		B	18.05	1	A	5.57	2
B	A	5.40	1		A	16.73	6		A	16.44	1		B	16.48	3	A	5.44	4
B	A	5.16	2	B	A	14.11	3		A	13.98	4	C	B	10.65	4	A	5.23	6
B		4.58	6	B		10.55	2		B	6.35	2	C		6.63	2	A	4.59	1
Routes provinciales																		
	A	8.06	5		A	16.93	2		A	15.77	2		A	14.30	4	A	7.14	2
	A	6.56	2	B	A	14.28	4		B	11.77	4	B	A	12.10	2	B	A 5.41	4
B	A	6.31	4	B	A	13.80	5		B	10.58	5	B	C	9.77	5	B	A 5.31	5
B		5.58	1	B	C	11.65	1		B	9.81	3		C	7.99	3	B	4.00	1
B		4.75	3		C	9.44	3		B	9.53	1		C	7.63	1	B	3.93	3
Routes secondaires																		
	A	10.29	5		A	22.64	5		A	11.87	3	A		11.94	3	A	4.85	1
	A	8.14	1		B	17.56	6		B	8.12	1	A		9.77	1	A	4.37	3
	A	8.00	6		B	15.67	3		B	7.97	5	B		6.62	5	A	3.70	5
	A	7.73	3		B	14.27	1		B	6.48	6	B		6.57	6	A	3.41	6

Tableau 3b

Comparaison de la variabilité entre les sections pour chaque type de route, à l'essai 2, par appareil

Autoroutes

Mays			Mays électronique			Purd		
	C.V.	Section		C.V.	Section		C.V.	Section
A	36.98	4	A	30.72	2	A	5.31	3
B A	31.66	2	A	30.50	4	B A	4.23	4
B A	27.10	3	B	16.38	6	B A	4.06	6
B	24.27	6	B	14.61	3	B	2.89	2
Routes provinciales								
A	40.81	4	A	25.68	1	A	4.78	4
B	29.58	1	A	23.37	2	B	3.66	3
C B	23.81	3	A	23.30	3	B	3.24	2
C D	20.53	2	A	19.78	4	B	3.15	5
D	14.72	5	A	12.29	5			
Routes régionales								
A	29.79	1	A	22.19	3	A	5.21	6
B	20.41	3	B	16.63	6	B A	4.83	1
C B	18.05	6	B	13.15	1	B A	4.22	3
C	14.12	5	B	11.92	5	B	3.75	5

Note: Le roulemètre électronique n'a pas été testé à l'essai 2.

Par conséquent, nous pouvons penser que les différences, bien que significatives, ne sont pas aussi importantes que la conclusion générale pourrait le laisser croire. Il faut donc nuancer celle-ci.

Ainsi, la variabilité de chaque appareil est elle-même suffisamment variable pour un groupe de sections d'un même type de routes. On peut presque toujours trouver deux sections où les mesures de la variabilité de l'appareil sont suffisamment différentes l'une de l'autre pour penser que l'appareil ne mesure pas de façon constante. Cependant, on peut également trouver, pour le même appareil et le même groupe de sections, plus de deux sections pour lesquelles les mesures de la variabilité ne diffèrent pas sensiblement les unes des autres. Ces deux conclusions, un peu contradictoires, peuvent laisser supposer des problèmes relatifs à la façon d'utiliser les appareils, plutôt que des problèmes relatifs aux appareils eux-mêmes. Toutefois, il ne s'agit là que d'une conjecture.

Si précédemment nous avons pu considérer une seule valeur par section pour la variabilité de chaque appareil, nous pouvons toujours le faire pour toutes les sections d'un même type de route. Cependant, il est bien évident que cette mesure est moins représentative de l'ensemble de ces sections, en ce sens que nous estimons par une même valeur la variabilité de chaque appareil, alors que celle-ci varie d'une section à l'autre, et parfois de façon significative. Toutefois, après avoir testé cette valeur moyenne, il semble que le résultat est tout de même assez bon pour le roulemètre électronique (mesures Kr) et le purd (voir annexe C pour plus de détails).

3.3 Variabilité entre les types de routes

Si les raisons que nous avons invoquées pour expliquer les différences de variabilité entre les sections pour un même type de routes sont valables, on pourra supposer qu'elles le sont tout autant pour les différences entre types de routes puisque, fondamentalement, il s'agit encore de différences entre sections.

Cependant, nous testerons d'abord **l'hypothèse globale,** à l'effet que **les différences observées entre les coefficients de variation moyens, par type de routes, ne sont pas significatives par rapport aux écarts observés entre les coefficients de variation pour des sections d'un même type de routes.**

Nous avons déjà observé des différences entre les sections d'un même type de routes et ce test nous dit maintenant que les différences entre types de routes sont tout au moins aussi significatives. Nous allons donc regarder plus attentivement ce qui se passe en analysant le tableau 4.

Ce tableau nous donne la valeur moyenne de la variabilité pour chaque appareil, type de route et essai. Les résultats sont tels que les types de routes sont regroupés en groupements disjoints, sauf dans le cas du purd, à l'essai 2, où tous les résultats seraient similaires. Par conséquent, les écarts précédents entre sections d'un même type de routes seraient encore plus marqués après les regroupements par type de routes, puisque cette fois les groupes sont disjoints.

Quoique étant plus ou moins représentative, nous allons estimer la variabilité de l'appareil par la moyenne des trois résultats (i.e., les 3 types de routes).

Tableau 4

Comparaison de la variabilité entre les types de routes par essai, par appareil

Essai 1: Avant la pose de la couche d'usure

Roulemètre électronique mesure Kr			Roulemètre électronique mesure sigma			Mays			Mays électronique			Purd		
	C.V.	Type		C.V.	Type		C.V.	Type		C.V.	Type		C.V.	Type
A	8.40	3	A	17.08	3	A	17.24	1	A	18.79	1	A	5.30	1
B	6.13	2	A	16.46	1	B	11.29	2	B	10.60	2	A	5.06	2
B	5.93	1	B	13.12	2	C	9.31	3	B	9.48	3	B	4.20	3

Essai 2: Après la pose de la couche d'usure

						A	29.36	1	A	21.60	1	A	4.42	3
						A	28.77	2	A	21.47	2	A	4.22	1
						B	21.00	3	B	17.00	3	A	3.94	2

Note: Le roulemètre électronique n'a pas été testé à l'essai 2.

Les résultats obtenus sont les suivants:

Essai 1

Appareil	C.V.	C.V. du C.V.
Roulemètre électronique, mesure Kr	6.78	82.67
Mays	12.28	78.72
Mays électronique	12.47	92.05
Purd	4.96	64.13
Roulemètre électronique, mesure sigma	15.24	64.57

Essai 2

Appareil	C.V.	C.V. du C.V.
Mays	26.40	66.62
Mays électronique	20.05	73.29
Purd	4.19	59.67

On remarque que:

- le purd est le plus stable: coefficient de variation (C.V.) minimum de même que le C.V. du C.V. moyen;

- le roulemètre électronique n'a pas la même variabilité dépendamment des mesures prises Kr ou sigma;

- de plus, d'un essai à l'autre, la variabilité moyenne de chaque appareil diffère de façon significative.

3.4 Comparaison des appareils

Il s'agit ici de comparer les appareils quant à leur variabilité. L'analyse de variance est utilisée et **l'hypothèse générale à tester est la suivante:**

> **"les différences observées entre les coefficients de variation d'un appareil à l'autre ne sont pas significatives par rapport à la variabilité même de chaque appareil".**

Les appareils diffèrent les uns des autres et des tests sur les moyennes donnent les résultats suivants:

Essai 1

Groupement	C.V.	Appareil(1)
A	15.24	5
B	12.47	3
B	12.28	2
C	6.78	1
D	4.96	4

Essai 2

Groupement	C.V.	Appareil(1)
A	26.40	2
B	20.05	3
C	4.19	4

Dans les deux cas, le purd est le plus stable et, de plus, sa variabilité diffère de celles des autres appareils. Le roulemètre électronique, mesure κr, donne une variabilité assez faible; par contre, le même appareil, mesure sigma, donne la plus grande variabilité et elle est significativement différente de celles des autres. Cet appareil n'a pas été testé à l'essai 2. Les appareils mays et mays électronique ne donnent pas de différences significatives à l'essai 1, par contre à l'essai 2, le mays électronique est moins variable que le mays.

Le tableau 5, donne la classification des appareils, quant à leur variabilité, par type de route. Le purd est toujours le moins variable et il est statistiquement différent des appareils mays, mays électronique et roulemètre électronique, mesure sigma. A l'essai 1, les deux appareils mays ne sont pas statistiquement différents l'un de l'autre, tandis qu'à l'essai 2 ils le sont et le mays électronique est moins variable que le mays.

---

(1) Se référer à l'annexe D pour l'identification des appareils.

Tableau 5

Comparaison de la variabilité entre les appareils[1], par type de route, par essai

Essai 1: avant la pose de la couche d'usure

Autoroutes			Routes provinciales			Routes secondaires		
	C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.
A	18.8	3	A	13.1	5	A	17.1	5
A	17.2	2	B	11.3	2	B	9.5	3
A	16.5	5	B	10.6	3	B	9.3	2
B	5.9	1	C	6.1	1	B	8.4	1
B	5.3	4	C	5.1	4	C	4.2	4
Essai 2: après la pose de la couche d'usure								
A	29.4	2	A	28.8	2	A	21.0	2
B	21.6	3	B	21.5	3	B	17.0	3
C	4.2	4	C	3.9	4	C	4.4	4

(1) Se référer à l'annexe D pour l'identification des appareils.

Les tableaux 6a, b et c donnent le même genre de résultats, mais par section. On retrouve sensiblement les mêmes conclusions que par type de route.

Maintenant que l'on connaît comment varie chacun des appareils, voyons comment chacun d'eux perçoit la qualité de la route et ses fluctuations.

Tableau 6a

Comparaison de la variabilité entre les appareils(1)
par section de route, pour les autoroutes, par essai

Essai 1: avant la pose de la couche d'usure

Section 1			Section 2			Section 3			Section 4			Section 5		
	C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.
A	18.1	3	A	10.5	5	A	17.7	2	A	18.3	5	A	28.2	3
A	17.3	5	B	6.6	3	A	16.5	3	B	14.0	2	B	21.9	2
A	16.4	2	B	6.4	2	A	14.1	5	C B	10.7	3	B	16.7	5
A	5.4	1	B	5.6	4	B	5.9	4	C D	8.4	1	C	5.2	4
A	4.6	4	B	5.2	1	B	5.9	1	D	5.4	4	C	4.6	1
Essai 2: après la pose de la couche d'usure														
			A	31.7	2	A	27.1	2	A	37.0	2	A	24.3	2
			A	30.7	3	B	14.6	3	A	30.5	3	B	16.4	3
			B	2.9	4	C	5.3	4	B	4.2	4	C	4.1	4

(1) Se référer à l'annexe D pour l'identification des appareils.

Tableau 6b

Comparaison de la variabilité entre les appareils(1)
par section de routes, pour les routes principales, par essai

Essai 1: avant la pose de la couche d'usure

Section 1			Section 2			Section 3			Section 4			Section 5		
	C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.
A	11.6	5	A	16.9	5	A	9.8	2	A	14.3	3	A	13.8	5
B	9.5	2	B A	15.8	2	A	9.4	5	A	14.3	5	B A	10.6	2
C	7.6	3	B	12.1	3	A	8.0	3	B	11.8	2	B A	9.8	3
D	5.6	1	C	7.1	4	B	4.8	1	C	6.3	1	B C	8.1	1
D	4.0	4	C	6.6	1	B	3.9	4	C	5.4	4	C	5.3	4
Essai 2: après la pose de la couche d'usure														
A	29.6	2	A	23.4	3	A	23.8	2	A	40.8	2	A	14.7	2
A	25.7	3	A	20.5	2	A	23.3	3	B	19.8	3	A	12.3	3
			B	3.2	4	B	3.7	4	C	4.8	4	B	3.2	4

(1) Se référer à l'annexe D pour l'identification des appareils.

Tableau 6c

Comparaison de la variabilité entre les appareils(1)
par section de route, pour les routes secondaires, par essai

Essai 1: avant la pose de la couche d'usure

Section 1			Section 3			Section 5			Section 6		
	C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.		C.V.	App.
A	14.3	5	A	15.7	5	A	22.6	5	A	17.6	5
B	9.8	3	B	11.9	3	B	10.3	1	B	8.0	1
B	8.1	1	B	11.9	2	B	7.9	2	C B	6.6	3
B	8.1	2	C	7.7	1	C B	6.6	3	C B	6.5	2
C	4.9	4	D	4.4	4	C	3.7	4	C	3.4	4
Essai 2: après la pose de la couche d'usure											
D	29.8	2	A	22.2	3	A	14.1	2	A	18.0	2
B	13.2	3	A	20.4	2	A	11.9	3	A	16.6	3
C	4.8	4	B	4.2	4	B	3.8	4	B	5.2	4

(1) Se référer à l'annexe D pour l'identification des appareils.

4. Qualité et uniformité de la route

La qualité de la route pour un chaînage d'une direction est donnée par la moyenne des mesures des quatre passages. Il s'agit d'abord de vérifier si la qualité de la route est la même dans les deux directions d'un même chaînage, ensuite si la qualité est équivalente:

- entre les chaînages d'une même section,
- entre les sections d'un même type de route,
- entre les différents types de route.

Les mesures de la qualité de la route ne seront pas comparables d'un appareil à l'autre n'étant pas dans les mêmes unités, mais la classification que les appareils en font sera, elle, comparable. Les tableaux 7 et 8 donnent pour chaque direction, essai et section, une estimation de la qualité moyenne de la route telle que déterminée par chaque appareil.

De son côté, l'uniformité de la route (ou ses fluctuations) est mesurée par le coefficient de variation des différentes mesures moyennes. Encore là, l'uniformité de la route sera calculée par section, par type de route et aussi globalement. Puis les résultats obtenus pour chaque appareil seront comparés entre eux.

4.1 Sur un chaînage donné, la qualité de la route est-elle équivalente dans les deux directions?

La qualité de la route d'un chaînage d'une direction est donnée par la moyenne des mesures prises lors des quatre passages à cet endroit. Donc, pour mesurer si la qualité de la route est la même dans les deux directions, il faut **tester l'hypothèse suivante:**

> **"pour un même chaînage, il n'existe pas de différences significatives entre les mesures moyennes de chaque direction".**

Tableau 7

Mesure de la profilométrie de la section pour la direction no 1

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	75		13		11.2		31.8		340	
Section no 2	59		34	7	23.5	5.6	72.1	26.4	1 110	
Section no 3	71		12	6	12.7	8.1	36.3	19.8	480	
Section no 4	70		40	3	32.8	6.1	139.3	21.3	670	
Section no 6	72		16	8	11.5	8.3	48.2	30.0	530	
Routes provinciales										
Section no 1	46		48	5	35.9	5.5	90.4	25.4	2 320	
Section no 2	71		16	6	13.7	5.0	56.8	26.0	540	
Section no 3	52		35	6	27.1	5.3	72.7	22.9	1 690	
Section no 4	64		28	4	21.3	6.2	79.9	25.4	840	
Section no 5	60		20	10	17.3	11.3	43.9	24.0	940	
Routes secondaires										
Section no 1	53		30	9	23.1	9.3	57.3	26.5	1 370	
Section no 3	63		27	6	20.1	6.4	60.1	23.6	950	
Section no 5	51		52	9	37.8	8.5	81.3	27.1	1 150	
Section no 6	49		78	8	55.4	7.6	114.5	27.7	1 670	

Tableau 8

Mesure de la profilométrie de la section pour la direction no 2

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	78		13		10.7		35.2		310	
Section no 2										
Section no 3										
Section no 4	68		26	6	19.8	4.8	69.0	20.3	840	
Section no 6	84		11	7	9.0	7.0	47.4	29.5	270	
Routes provinciales										
Section no 1	51		37	5	29.0	4.2		23.0	1 640	
Section no 2	72		19	7	15.6	5.7		26.3	610	
Section no 3	52		30	5	22.8	6.4		24.6	1 530	
Section no 4	66		27	3	19.7	6.0		26.0	820	
Section no 5	55		18	8	17.4	10.0	46.2	25.0	1 040	
Routes secondaires										
Section no 1	54		27	6	21.6	7.9		25.2	1 140	
Section no 3	61		31	7	24.1	6.2		25.0	1 060	
Section no 5	53		55	15	40.2	13.5		28.7	1 120	
Section no 6	50		88	10	62.9	9.5		32.4	1 610	

Le tableau 9 résume les résultats obtenus.

Le nombre de chaînages où la qualité de la route n'est pas la même dans les deux directions est moins élevé à l'essai 2 qu'à l'essai 1, ce qui laisse croire à une qualité de la route plus similaire entre les directions après la pose de la couche d'usure qu'avant. En outre, étant donné que dans plus de la moitié des chaînages, il y a une différence significative entre les deux directions, elles seront donc traitées, dorénavant, séparément l'une de l'autre; il importe aussi de noter qu'on ne peut pas dire de façon générale que la qualité de la route est meilleure dans une direction que dans l'autre (cf. annexe E). Effectivement, la qualité moyenne d'une direction n'est pas significativement différente de l'autre direction dans la plupart des cas (voir tableau 10).

4.2 Comparaison de la qualité des chaînages d'une section de route et degré d'uniformité des sections de route.

Dans un premier temps, il s'agit de vérifier si les mesures varient d'un chaînage à l'autre, c'est-à-dire de voir si les chaînages d'une même section sont de même qualité. Pour ce faire, on utilise l'analyse de variance et **l'hypothèse globale à tester est:**

> **"pour une direction donnée, les différences observées entre les mesures moyennes de chaque chaînage ne sont pas significatives par rapport aux écarts observés entre les mesures prises lors de chaque passage sur un même chaînage".**

Les tests indiquent qu'il y a effectivement des différences significatives entre les chaînages et cela, quelle que soit la direction.

Tableau 9

Proportion de chaînes avec des mesures significativement différentes pour les deux directions

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	38.4%		30.7%		23.0%		53.8%		53.8%	
Section no 2										
Section no 3										
Section no 4	61.9%		57.1%	42.8%	85.7%	52.3%	95.2%	38.0%	66.6%	
Section no 6	75.0%		51.7%	34.4%	20.6%	41.3%	37.9%	58.6%	79.3%	
Moyenne	62.9%		49.2%	38.0%	42.8%	46.0%	60.3%	50.0%	69.8%	
Routes provinciales										
Section no 1	78.7%		66.6%	27.2%	72.7%	57.5%			81.8%	
Section no 2	55.5%		38.8%	22.2%	66.6%	44.4%		44.4%	66.6%	
Section no 3	85.0%		80.0%	35.0%	60.0%	25.0%		50.0%	80.0%	
Section no 4	62.1%		70.2%	18.9%	48.6%	29.7%		48.6%	78.3%	
Section no 5	50.0%		43.7%	37.5%	37.5%	43.7%	50.0%	81.2%	56.2%	
Moyenne	67.7%		62.9%	26.6%	58.0%	40.3%	50.0%	53.8%	75.0%	
Routes secondaires										
Section no 1	54.5%		59.0%	36.3%	50.0%	59.0%		59.0%	68.1%	
Section no 3	41.6%		77.7%	47.2%	77.7%	41.6%		50.0%	61.1%	
Section no 5	15.7%		57.8%	89.4%	47.3%	73.6%		57.8%	31.5%	
Section no 6	28.5%		78.5%	57.1%	85.7%	42.8%		57.1%	57.1%	
Moyenne	37.3%		69.2%	54.9%	65.9%	52.7%		54.9%	56.0%	
Moyenne générale	56.6%		61.8%	38.4%	57.1%	45.6%	58.2%	53.4%	67.6%	

Tableau 10

Différences significatives (oui) ou non (non) entre les deux directions

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	non		non		non		non		non	
Section no 2										
Section no 3										
Section no 4	non		oui	oui	oui	non	oui	non	non	
Section no 6	oui		oui	non	non	non	non	non	oui	
Routes provinciales										
Section no 1	non		oui	non	oui	oui		oui	oui	
Section no 2	non		non	non	non	non		non	non	
Section no 3	non		oui	oui	oui	non		oui	non	
Section no 4	non		non	non	non	non		non	non	
Section no 5	non		non	non	non	non	non	non	non	
Routes secondaires										
Section no 1	non		non	oui	non	oui		non	non	
Section no 3	non		non	oui	non	non		oui	non	
Section no 5	non		non	oui	non	oui		non	non	
Section no 6	non		non	oui	non	non		oui	non	

Les résultats obtenus se retrouvent à l'annexe F. Après examen de tous ces résultats, **on retient en général que:**

- **le nombre de regroupements différents est élevé, donc que les sections sont peu uniformes;**
- **les chaînages regroupés ne sont pas nécessairement des chaînages consécutifs, ce qui nous indique que la qualité varie vraiment tout au long de la section. Ainsi, au 1er essai, la proportion de chaînages non regroupées avec un ou des chaînages consécutifs varie entre 36 et 52%, selon les appareils. Cette proportion diminue cependant de façon importante au 2e essai (voir tableaux 11 et 12).**

En comparant les deux essais, **on constate que:**

- **il y a moins de regroupements à l'essai 2 qu'à l'essai 1, ce qui indique que la section est plus uniforme après la pose de la couche d'usure qu'avant;**
- **la classification des chaînages, de même que leur regroupement, diffère d'un essai à l'autre, c'est-à-dire les chaînages où la qualité était la meilleure à l'essai 1 n'ont pas nécessairement la meilleure qualité à l'essai 2.**

L'illustration des résultats (annexe G) où, sur un même graphique, les résultats des deux essais ont été superposés montre aussi que:

- **les chaînages d'une section sont plus uniformes après la pose de la couche d'usure qu'avant;**
- **l'amplitude est plus faible après la pose de la couche d'usure qu'avant (voir de plus les tableaux 13 et 14).**

Dans un deuxième temps, il s'agit de quantifier l'uniformité d'une section de route. On mesure l'uniformité de la section par le coefficient de variation calculé à partir des mesures moyennes de chaque chaînage-direction (un coefficient de variation petit indique que la route est uniforme; il exprime un pourcentage de variation par rapport à la valeur de la section).

Tableau 11

Proportion de chaînages non-regroupés avec des chaînages consécutifs pour la direction no 1

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	38.5%		15.4%	23.1%	15.4%	46.2%				
Section no 2	36.4%		45.5%	9.1%	54.5%	18.2%	63.6%	54.5%	63.6%	
Section no 3	36.4%		31.8%		18.2%	13.6%	63.6%	13.6%	36.4%	
Section no 4	33.3%		19.0%	4.8%	28.6%		47.6%	9.5%	23.8%	
Section no 6	37.9%		24.1%	24.1%	31.0%	58.6%	34.5%	48.3%	31.0%	
Moyenne	36.4%		26.0%	10.8%	29.1%	26.5%	44.7%	30.1%	36.4%	
Routes provinciales										
Section no 1	57.6%		57.6%		63.6%	42.4%	72.7%		36.4%	
Section no 2	44.4%		38.9%	11.1%	72.2%	22.2%	55.6%	33.3%	55.6%	
Section no 3	70.0%		25.0%	20.0%	20.0%	30.0%	55.0%	40.0%	50.0%	
Section no 4	56.8%		43.2%	2.7%	35.1%	13.5%	43.2%	54.1%	54.1%	
Section no 5	37.5%		50.0%	25.0%	56.3%	50.0%	68.8%	68.8%	31.3%	
Moyenne	54.8%		44.3%	8.8%	48.3%	29.8%	52.7%	49.4%	55.6%	
Routes secondaires										
Section no 1	36.4%		59.1%	9.1%	40.9%	18.2%	72.7%	50.0%	54.5%	
Section no 3	30.6%		27.8%	25.0%	36.1%	38.9%	63.9%	25.0%	22.2%	
Section no 5	10.5%		31.6%	47.4%	52.6%	52.6%	68.4%	21.1%		
Section no 6	7.1%		42.9%		57.1%	28.6%	57.1%	42.9%	21.4%	
Moyenne	24.1%		38.4%	21.9%	43.9%	35.1%	65.9%	32.9%	25.2%	
Moyenne générale	40.1%		36.9%	13.4%	41.1%	30.5%	54.3%	37.7%	40.8%	

Tableau 12

Proportion de chaînages non-regroupés avec des chaînages consécutifs pour la direction no 2

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	61.5%		30.8%		23.1%		69.2%		61.5%	
Section no 4	28.6%		19.0%	9.5%	28.6%		23.8%	47.6%	4.8%	
Section no 6	48.3%		17.2%	20.7%	10.3%	37.9%	31.0%	44.8%	44.8%	
Moyenne	44.4%		20.6%	16.0%	19.0%	22.0%	36.5%	46.0%	34.9%	
Routes provinciales										
Section no 1	42.4%		42.4%	6.1%	39.4%	24.2%			48.5%	
Section no 2	33.3%		22.2%	5.6%	50.0%	44.4%	22.2%		44.4%	
Section no 3	80.0%		35.0%	15.0%	15.0%	20.0%	55.0%		60.0%	
Section no 4	45.9%		43.2%	8.1%	16.2%	21.6%	16.2%		45.9%	
Section no 5	37.5%		68.8%	43.8%	56.3%	37.5%	50.0%	50.0%	18.8%	
Moyenne	47.5%		41.9%	12.9%	32.2%	27.4%	50.0%	31.8%	45.1%	
Routes secondaires										
Section no 1	22.7%		40.9%	4.5%	36.4%	18.2%	36.4%		22.7%	
Section no 3	36.1%		44.4%	38.9%	47.2%	22.2%	38.9%		22.2%	
Section no 5	26.3%		47.4%	15.8%	63.2%	47.4%	47.4%		5.3%	
Section no 6	50.0%		71.4%	21.4%	71.4%	71.4%	35.7%		14.3%	
Moyenne	32.9%		48.3%	23.0%	51.6%	34.0%	39.5%		17.5%	
Moyenne générale	42.0%		39.2%	16.9%	35.6%	28.6%	39.2%	37.9%	33.8%	

Tableau 13

Étendue des mesures moyennes par section, type de route, essai et appareil pour la direction no 1

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	28								390	
Section no 2	28		18	7	11.4	7.1	56.2	11.4	1 390	
Section no 3	47		16	6	10.9	6.6	31.2	9.9	1 790	
Section no 4	33		55	4	37.4	3.8	131.6	3.8	1 180	
Section no 6	55		34	18	19.1	14.2	54.1	22.1	1 170	
Routes provinciales										
Section no 1	35		52	6	32.7	6.5	59.3	13.8	4 800	
Section no 2	61		24	6	17.9	6.1	42.4	6.5	2 000	
Section no 3	31		23	7	15.5	7.9	37.5	9.8	2 540	
Section no 4	49		32	5	20.7	6.4	73.3	12.9	1 720	
Section no 5	60		27	17	16.0	16.8	32.3	15.9	3 290	
Routes secondaires										
Section no 1	38		38	9	17.8	7.7	39.9	10.9	3 050	
Section no 3	55		76	9	48.7	8.6	89.9	8.9	2 870	
Section no 5	34		73	16	47.6	16.2	85.8	18.3	1 600	
Section no 6	19		45	8	39.8	11.0	68.6	10.4	1 350	

Tableau 14

Étendue des mesures moyennes par section, type de route, essai et appareil pour la direction no 2

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	26								370	
Section no 2										
Section no 3										
Section no 4	54		45	5	28.1	10.0	44.0	8.5	2 850	
Section no 6	47		21	19	13.8	15.9	49.7	33.1	930	
Routes provinciales										
Section no 1	37		56	7	41.9	10.1		19.2	5 750	
Section no 2	52		27	4	23.4	6.7		5.1	2 490	
Section no 3	38		25	10	17.4	9.5		10.1	1 940	
Section no 4	50		41	7	25.4	6.6		19.8	1 630	
Section no 5	52		21	12	15.8	10.8	31.5	13.4	4 180	
Routes secondaires										
Section no 1	33		25	13	17.1	7.7		17.6	2 020	
Section no 3	55		97	9	66.9	9.3		14.5	4 680	
Section no 5	37		82	20	67.8	19.5		13.8	1 440	
Section no 6	26		66	11	51.1	9.8		21.0	2 060	

Les tableaux 15 et 16 montrent respectivement pour les directions 1 et 2 notre estimation de l'uniformité de chaque section, telle que donnée par chaque appareil. Des tests statistiques démontrent clairement que les deux appareils mays produisent des estimations équivalentes, mais différentes des deux roulemètres électroniques et du purd. Le roulemètre électronique, mesure r, et le purd donnent également des estimations équivalentes. Quant au roulemètre électronique, mesure sigma, l'estimation est de beaucoup supérieure aux autres appareils. Il existe une certaine corrélation linéaire entre la mesure de l'uniformité de chaque section et la mesure de la variabilité de chaque appareil.

A l'essai 1:

- dans les sections d'autoroutes, les sections 1 et 2 sont plus uniformes que les autres;
- dans les sections de routes provinciales, la section 3 est plus uniforme que les autres;
- dans les sections de routes secondaires, la section 6 est la plus uniforme, tandis que la section 3 est la moins uniforme.

A l'essai 2:

- dans les sections d'autoroutes, la section 6 est la moins uniforme;
- dans les autres types de route, les différents appareils ne donnent pas les mêmes résultats.

Donc, **les faits observés avant la pose de la couche d'usure (essai 1), qui diffèrent de ceux observés après la pose de la couche d'usure (essai 2), nous laisse croire à un effet dû à la pose de la couche d'usure différent d'une section à l'autre.**

Tableau 15

Mesure de l'uniformité de la route par section, type de route, essai et appareil pour la direction no 1

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	12.2%		27.7%		22.6%		8.7%		43.7%	
Section no 2	18.3%		16.9%	32.7%	16.7%	43.2%	22.9%	13.1%	38.9%	
Section no 3	17.8%		33.5%	33.0%	21.4%	21.6%	21.5%	10.7%	88.7%	
Section no 4	13.5%		40.0%	32.5%	32.5%	18.7%	24.7%	4.9%	49.5%	
Section no 6	22.5%		61.2%	58.3%	51.1%	52.5%	38.6%	14.7%	72.7%	
Moyenne	16.9%		35.8%	39.1%	28.9%	34.0%	23.3%	10.8%	58.7%	
Routes provinciales										
Section no 1	21.2%		27.7%	27.5%	21.7%	32.8%	13.7%	11.5%	47.8%	
Section no 2	18.2%		40.9%	22.5%	33.2%	34.4%	20.2%	6.5%	79.5%	
Section no 3	18.7%		16.9%	27.7%	15.0%	35.6%	12.0%	10.9%	42.9%	
Section no 4	18.2%		34.0%	31.5%	31.3%	27.5%	25.0%	13.8%	51.3%	
Section no 5	23.9%		30.8%	45.8%	24.3%	35.7%	21.0%	18.3%	82.9%	
Moyenne	20.0%		30.1%	31.0%	25.1%	33.2%	18.4%	12.2%	60.9%	
Routes secondaires										
Section no 1	19.3%		30.5%	27.6%	20.5%	20.4%	19.2%	12.1%	54.2%	
Section no 3	19.1%		51.4%	39.2%	45.1%	30.3%	36.3%	10.5%	70.6%	
Section no 5	16.8%		43.7%	38.5%	40.4%	41.4%	29.7%	16.6%	41.2%	
Section no 6	9.9%		15.2%	28.0%	18.8%	41.9%	21.1%	10.5%	20.7%	
Moyenne	16.3%		35.2%	33.3%	31.2%	33.5%	26.6%	12.4%	46.7%	

Tableau 16

Mesure de l'uniformité de la route par section, type de route, essai et appareil pour la direction no 2

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Essai		Essai		Essai		Essai		Essai	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1	10.4%		26.6%		23.1%		17.4%		38.5%	
Section no 2										
Section no 3										
Section no 4	24.0%		51.7%	21.5%	38.7%	65.2%	19.4%	10.4%	94.2%	
Section no 6	14.7%		60.5%	59.6%	45.6%	51.4%	39.0%	20.0%	75.4%	
Moyenne	16.4%		46.3%	40.6%	35.8%	58.3%	25.3%	15.2%	69.4%	
Routes provinciales										
Section no 1	17.3%		33.4%	35.7%	34.1%	56.1%		15.3%	65.5%	
Section no 2	17.4%		42.2%	14.5%	39.5%	32.8%		5.1%	92.5%	
Section no 3	19.7%		21.4%	43.9%	16.4%	32.2%		10.6%	37.9%	
Section no 4	19.9%		38.8%	47.3%	33.7%	23.8%		16.6%	53.0%	
Section no 5	26.6%		35.2%	46.0%	28.9%	33.8%	20.6%	15.0%	96.0%	
Moyenne	20.2%		34.2%	37.5%	30.5%	35.7%	20.6%	12.5%	69.0%	
Routes secondaires										
Section no 1	17.6%		26.9%	44.2%	21.2%	26.3%		17.0%	47.6%	
Section no 3	21.8%		70.4%	28.0%	62.8%	33.6%		12.4%	90.1%	
Section no 5	16.8%		44.4%	37.6%	43.8%	34.0%		14.6%	31.4%	
Section no 6	12.9%		22.6%	34.3%	26.7%	33.3%		20.8%	32.2%	
Moyenne	17.3%		41.1%	36.0%	38.6%	31.8%		16.2%	50.4%	

4.3 Comparaison de la qualité des sections d'un type de route et degré d'uniformité des types de route.

De façon similaire à ce qui a été fait précédemment, nous allons utiliser l'analyse de variance pour vérifier si la qualité de la route est la même pour chaque section d'un type de route. L'hypothèse générale à tester devient:

> "pour une direction donnée, les différences observées entre les mesures moyennes de la qualité de chaque section ne sont pas significatives, par rapport aux écarts observés entre les mesures de la qualité de chaque chaînage".

Les résultats obtenus (tableaux 17a, b et 18a, b) montrent qu'en général, les sections d'un même type de route diffèrent entre elles, et ce autant à l'essai 1 qu'à l'essai 2. Par contre, elles sont de meilleure qualité à l'essai 2 et les écarts observés y sont plus faibles.

Pour la mesure de l'uniformité des types de route, les résultats se retrouvent aussi dans les tableaux 15 et 16. On remarque que l'uniformité des types de route est qualifiée différemment par les appareils. Le roulemètre électronique, mesure Kr, et le purd la qualifient plus uniforme tandis que le roulemètre électronique, mesure sigma la qualifie la moins uniforme.

Tableau 17a

Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 1, pour la direction no 1

Roulemètre électronique mesure Kr			Roulemètre électronique mesure sigma			Mays			Mays électronique			Purd		
	Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section
Autoroutes														
A	75.4	1	A 1	107.7	2	A	39.8	4	A	328.3	4	A 1	393.4	4
A	72.4	6	B	669.2	4	A	34.5	2	B	234.9	2	B	720.9	2
A	71.3	3	C B	534.6	6	B	16.0	6	C	127.2	3	C	482.2	6
A	70.4	4	C B	484.8	3	B	12.7	1	C	115.1	6	D C	362.6	3
B	58.5	2	C	339.2	1	B	12.0	3	C	111.7	1	D	318.3	1
Routes principales														
A	70.9	2	A 2	316.4	1	A	47.9	1	A	359.1	1	A	903.7	1
B A	64.3	4	B 1	685.8	3	B	35.4	3	B	271.4	3	B	799.0	4
B	60.3	5	C	935.2	5	C	28.2	4	C	213.2	4	B	727.3	3
C	52.2	3	C	843.1	4	D	20.0	5	D	173.3	5	C	567.6	2
C	46.4	1	C	537.1	2	D	16.3	2	E	136.6	2	D	438.7	5
Routes secondaires														
A	63.4	3	A 1	666.8	6	A	78.2	6	A	554.0	6	A 1	145.3	6
B	52.7	1	B A 1	374.3	1	B	51.8	5	B	377.7	5	B	812.7	5
B	51.4	5	B C 1	152.6	5	C	29.7	1	C	231.5	1	C	600.7	3
B	48.8	6	C	950.3	3	C	27.3	3	C	200.9	3	C	572.9	1

Tableau 17b

Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 1, pour la direction no 2

Rouleмètre électronique mesure Kr			Rouleмètre électronique mesure sigma			Mays			Mays électronique			Purd		
						Autoroutes								
	Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section
A	83.8	6	A	841.1	4	A	26.3	4	A	197.9	4	A	689.7	4
A	77.9	1	B	305.2	1	B	12.6	1	B	107.4	1	B	474.5	6
B	68.2	4	B	268.3	6	B	11.3	6	B	90.2	6	C	352.0	1
						Routes principales								
A	71.6	2	A	1 635.7	1	A	36.8	1	A	290.5	1		N.A.	
A	66.0	4	A	1 530.3	3	B	29.5	3	B	228.3	3			
B	55.1	5	B	1 043.0	5	B	27.3	4	C B	197.1	4			
B	52.2	3	B	820.5	4	C	18.9	2	C	174.2	5			
B	50.7	1	B	606.4	2	C	18.3	5	C	156.2	2			
						Routes secondaires								
A	61.3	3	A	1 613.2	6	A	87.9	6	A	629.5	6		N.A.	
B	54.2	1	B	1 142.6	1	B	55.3	5	B	402.4	5			
B	53.4	5	B	1 121.3	5	C	31.4	3	C	241.3	3			
B	50.0	6	B	1 064.8	3	C	26.7	1	C	215.7	1			

Tableau 18a

Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 2, pour la direction no 1

Mays			Mays électronique			Purd		
			Autoroutes					
	Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section
A	7.7	6	A	82.7	6	A	300.2	6
A	7.2	2	A	80.9	3	B	264.3	2
A	6.1	3	B	61.5	4	C	212.7	4
B	2.6	4	B	55.7	2	C	197.8	3
			Routes principales					
A	9.6	5	A	113.2	5	A	259.8	2
B	6.3	2	B	61.9	4	A	254.4	1
B	6.0	3	B	54.8	1	A	254.2	4
B	5.0	1	B	52.5	3	B A	240.2	5
C	3.7	4	B	49.6	2	B	228.6	3
			Routes secondaires					
A	9.0	5	A	92.9	1	A	277.4	6
A	8.9	1	B A	84.8	5	A	271.0	5
A	8.1	6	B C	75.7	6	A	264.7	1
B	5.9	3	C	65.6	3	B	236.0	3

Tableau 18b

Comparaison de la qualité de route des sections, par type de route et par appareil, à l'essai 2, pour la direction no 2

Mays			Mays électronique			Purd		
			Autoroutes					
	Qualité	Section		Qualité	Section		Qualité	Section
A	7.2	6	A	70.4	6	A	294.7	6
A	5.5	4	B	47.6	4	B	202.7	4
			Routes principales					
A	7.8	5	A	99.8	5	A	263.4	2
A	6.9	2	B	64.4	3	A	259.6	4
B	4.8	1	B	59.7	4	B A	250.1	5
B	4.7	3	B	57.0	2	B A	246.4	3
C	3.3	4	C	41.7	1	B	230.5	1
			Routes secondaires					
A	15.5	5	A	134.7	5	A	324.4	6
B	10.4	6	B	95.4	6	B	286.7	5
C	7.0	3	C B	79.5	1	C	252.4	1
C	6.1	1	C	62.0	3	C	250.4	3

4.4 Comparaison de la qualité des types de route et degré d'uniformité de l'ensemble des routes.

Comme la qualité de la route varie d'une section à l'autre, une qualité moyenne par type de route est plus ou moins représentative de la réalité. Malgré ces faits, pour vérifier si la qualité de la route est la même pour chaque type de route, l'analyse de variance est utilisée et l'**hypothèse générale à tester est:**

> **"pour une direction donnée, les différences observées entre les mesures moyennes de la qualité de chaque type de route ne sont pas significatives par rapport aux écarts observés entre les mesures de la qualité des sections d'un type de route".**

Les résultats obtenus (tableau 19) montrent qu'en général, les différences de qualité entre les sections d'un même type de route sont plus importantes que les différences de qualité entre les types de route.

Quoiqu'étant plus ou moins réaliste (à cause des données incomplètes pour certains appareils), le degré d'uniformité globale de l'ensemble des sections a été calculé pour chacun des appareils. Les résultats sont les suivants:

Essai 1

	Direction 1	Direction 2	Les deux directions
Roulemètre électronique (mesure Kr)	23.95	25.36	24.62
Roulemètre électronique (mesure sigma)	77.65	80.24	78.83
Mays	61.49	71.15	66.05
Mays électronique	54.92	65.16	59.81
Purd	45.86	35.72	46.65

Tableau 19

Comparaison de la qualité des types de route[1] par direction, par essai, pour chaque appareil

Essai 1 - Avant la pose de la couche d'usure

Roulemètre électronique mesure Kr			Roulemètre électronique mesure sigma			Mays			Mays électronique			Purd		
	Qualité	Type		Qualité	Type		Qualité	Type		Qualité	Type		Qualité	Type
Direction 1														
	A 69.60	1		A 1 286.0	3	A	46.73	3		A 341.01	3		A 782.90	3
B	A 58.81	2		A 1 263.5	2	A	29.56	2		A 230.70	2		A 687.26	2
B	54.08	3		A 627.1	1	A	22.98	1		A 183.42	1		A 655.48	1
Direction 2														
	A 76.62	1		A 1 235.5	3		A 50.30	3		A 372.22	3		A 505.41	1
	B 59.13	2		A 1 927.2	2	B	A 26.15	2	B	A 209.25	2		A 462.19	2
	B 54.72	3		B 471.5	1	B	16.70	1	B	131.84	1			
Essai 2 - Après la pose de la couche d'usure														
Direction 1														
						A	7.97	3	A	79.25	3	A	262.29	3
						A	6.10	2	A	70.19	1	A	247.43	2
						A	5.92	1	A	66.40	2	A	243.74	1
Direction 2														
						A	9.76	3	A	92.88	3	A	278.45	3
						A	6.35	1	A	64.53	2	A	249.99	2
						A	5.48	2	A	58.98	1	A	248.67	1

(1) Se référer à l'annexe D pour l'identification des types de route.

Essai 2

	Direction 1	Direction 2	Les deux directions
Roulemètre électronique (mesure Kr)	N.A.	N.A.	N.A.
Roulemètre électronique (mesure sigma)	N.A.	N.A.	N.A.
Mays	50.51	61.27	56.24
Mays électronique	42.36	51.57	46.83
Purd	16.32	18.96	17.68

4.5 Comparaison entre les appareils

On observe en général que:

- le roulemètre électronique, mesure Kr, et le purd qualifient la route plus uniforme que les autres, tandis que le roulemètre électronique, mesure sigma, la qualifie la moins uniforme;
- les résultats obtenus par les deux appareils mays sont près l'un de l'autre;
- l'ordre de classement de la qualité des sections diffère peu d'un appareil à l'autre (roulemètre électronique, mesure Kr, lire les données en sens inverse des autres).

Pour résumer ce chapitre, on a vu que:

- **la qualité de la route diffère d'une direction à l'autre;**
- **les sections sont peu uniformes;**
- **à l'intérieur d'une section, les fluctuations ne sont pas les mêmes aux deux essais (l'ordre de classification des chaînages diffère d'un essai à l'autre);**
- **les sections sont plus uniformes après la pose de la couche d'usure qu'avant (fluctuations moins grandes après qu'avant);**
- **à l'intérieur d'un même type de route, les sections ne sont pas nécessairement de qualité égale;**

et finalement que:

- **la qualité de la route diffère sensiblement d'un essai à l'autre.**

Pour compléter la mesure de l'effet de la pose de la couche d'usure, il faut vérifier si, statistiquement, la qualité de la route s'est améliorée suite à la pose de la couche d'usure et si elle s'est améliorée de façon équivalente partout. C'est ce que nous traiterons dans le prochain chapitre.

5. Amélioration de la qualité de la route suite à la pose de la couche d'usure

Dans cette section, on s'intéresse à l'amélioration de la qualité de la route, suite à la pose de la couche d'usure. Il faut donc vérifier si les différences observées entre les mesures des deux essais sont significatives.

Comme on a déjà vu qu'en général la qualité de route est différente d'une direction à l'autre (cf. 4.1), elles seront traitées séparément.

En premier lieu, on testera, pour une direction donnée, si les différences entre les deux essais sont statistiquement différentes de zéro, d'abord sur un chaînage, puis sur la section et, s'il y a lieu, sur le type de route et sur l'ensemble des routes. A chaque fois qu'on estimera les gains moyens, on calculera les marges d'erreur associées à ces estimés.

Dans un deuxième temps, on testera si les gains sont équivalents pour toutes les sections d'un même type de route puis, s'il y a lieu, pour tous les types de route.

Finalement, il s'agira de comparer les appareils entre eux, quant à leur mesure de l'amélioration de la qualité de la route.

Il est important de noter que le roulemètre électronique n'a pas été testé à l'essai 2, donc on ne pourra le comparer avec les autres sur l'aspect amélioration de la qualité de la route.

5.1 Amélioration de la qualité de la route par section.

Voyons d'abord s'il y a eu amélioration de la qualité de la route sur chaque chaînage d'une direction donnée. **Il s'agit de tester l'hypothèse suivante:**

"pour une direction donnée, sur un chaînage, il n'y a pas de différence entre la qualité de la route après la pose de la couche d'usure et celle avant la pose de la couche d'usure."

On retrouve à l'annexe H les résultats de ce test, de même que les mesures de la qualité moyenne de la route aux deux essais et la différence entre ces mesures, soit le gain de l'uni.

Le tableau 20 résume cette annexe en donnant la proportion de chaînes avec des valeurs différentes aux deux essais. **On remarque qu'en général, il y a eu amélioration de la qualité de la route suite à la pose de la couche d'usure.** Cependant, quelques chaînages de certaines sections font exception et même, dans quelques cas, il y a eu une détérioration significative de l'état de la route suite à la pose de la couche d'usure; ces cas ont été encerclés sur les graphiques de l'annexe G, ces cas sont vraiment marginaux: 1.8% des chaînages pour le mays, 2.5% pour le mays électronique et 1% pour le purd.

Le tableau 21 donne pour chaque appareil le gain moyen par section et sa marge d'erreur à un niveau de confiance de 95%. Comme les unités de mesure ne sont pas les mêmes d'un appareil à l'autre, celles-ci ont été traduites en pourcentages dans le tableau 22.

5.2 L'amélioration de la qualité de la route est-elle équivalente pour toutes les sections d'un type de route?

Nous allons utiliser l'analyse de variance pour vérifier si le gain moyen est le même pour toutes les sections d'un type de route. **L'hypothèse générale à tester est:**

Tableau 20

Proportion de chaînes avec une qualité différente aux deux essais, par section, type de route et appareil

	Roulemètre électronique mesure Kr		Mays		Mays électronique		Purd		Roulemètre électronique mesure sigma	
	Direction		Direction		Direction		Direction		Direction	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Autoroutes										
Section no 1										
Section no 2			100.0%		100.0%		100.0%			
Section no 3			59.0%		63.6%		100.0%			
Section no 4			100.0%	100.0%	100.0%	95.2%	100.0%	85.7%		
Section no 6			68.9%	72.4%	75.8%	51.7%	75.8%	68.9%		
Moyenne			78.3%	84.0%	81.9%	70.0%	91.5%	76.0%		
Routes provinciales										
Section no 1			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%				
Section no 2			77.7%	100.0%	88.8%	94.4%	94.4%			
Section no 3			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%			
Section no 4			100.0%	94.5%	100.0%	97.2%	100.0%			
Section no 5			87.5%	100.0%	75.0%	93.7%	100.0%	100.0%		
Moyenne			95.1%	98.3%	95.1%	97.5%	98.9%	100.0%		
Routes secondaires										
Section no 1			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%			
Section no 3			94.4%	97.2%	97.2%	97.2%	97.2%			
Section no 5			94.7%	84.2%	94.7%	89.4%	100.0%			
Section no 6			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%			
Moyenne			96.7%	95.6%	97.8%	96.7%	98.9%			
Moyenne générale			90.9%	94.7%	92.2%	92.0%	96.6%	81.8%		

Tableau 21

Amélioration de la qualité de la route (gain moyen) et sa marge d'erreur à un niveau de confiance de 95%

	Roulemètre électronique mesure Kr				Mays				Mays électronique				Purd				Roulemètre électronique mesure sigma			
	Direction				Direction				Direction				Direction				Direction			
	1		2		1		2		1		2		1		2		1		2	
	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.
Autoroutes																				
Section no 1																				
Section no 2					27	2.9			179	22.6			457	71.4						
Section no 3					6	1.1			46.3	8.0			165	17.7						
Section no 4					37	3.1	21	2.8	267	22.1	150	20.1	1181	66.3	487	29.0				
Section no 6					8	1.9	4	1.5	32.4	13.8	19.9	10.5	182	31.2	180	33.0				
Routes provinciales																				
Section no 1					43	1.7	32	1.7	304	11.4	249	14.6	649	18.2						
Section no 2					10	1.8	12	2.0	87.0	13.6	99.1	17.5	308	28.7						
Section no 3					29	1.5	25	1.6	219	11.7	164	11.4	499	22.0						
Section no 4					25	1.1	24	1.3	151	8.9	137	8.5	545	25.0						
Section no 5					10	2.6	11	2.5	60.1	20.2	74.4	20.6	198	33.4	212	32.6				
Routes secondaires																				
Section no 1					21	2.1	20	1.8	139	11.9	136	11.9	308	25.4						
Section no 3					21	1.8	25	2.6	137	12.0	179	18.8	365	26.4						
Section no 5					43	5.4	40	6.3	293	38.8	268	45.9	542	59.2						
Section no 6					70	4.0	78	6.6	478	38.1	534	56.0	868	76.1						

Légende: M.E. signifie marge d'erreur

Tableau 22

Amélioration de la qualité de la route (gain moyen en %) et sa marge d'erreur (en %) à un niveau de confiance de 95%

	Rouiomètre électronique mesure Kr				Mays				Mays électronique				Purd				Rouiomètre électronique mesure sigma			
	Direction				Direction				Direction				Direction				Direction			
	1		2		1		2		1		2		1		2		1		2	
	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.	Gain	M.E.
Autoroutes																				
Section no 1																				
Section no 2					79.0	8.5			76.3	9.6			63.3	9.9						
Section no 3					49.0	9.0			36.4	6.3			45.5	4.9						
Section no 4					93.4	7.9	79.0	10.5	81.3	6.7	75.9	10.2	84.7	4.8	70.6	4.2				
Section no 6					51.9	12.1	36.3	13.3	28.2	12.0	22.0	11.6	37.7	6.5	37.9	7.0				
Routes provinciales																				
Section no 1					89.6	3.6	87.0	4.5	84.7	3.2	85.6	5.0	71.8	2.0						
Section no 2					61.7	10.8	63.3	10.4	63.7	10.0	63.5	11.2	54.2	5.1						
Section no 3					83.1	4.2	84.1	5.6	80.6	4.3	71.8	5.0	68.6	3.0						
Section no 4					87.0	4.0	88.0	4.7	71.0	4.2	69.7	4.3	68.2	3.1						
Section no 5					51.9	13.0	57.5	13.4	34.7	11.7	42.7	11.8	45.2	7.6	45.9	7.1				
Routes secondaires																				
Section no 1					69.9	6.9	77.1	6.6	59.9	5.1	63.1	5.5	53.8	4.4						
Section no 3					78.4	6.5	77.6	8.4	68.4	6.0	74.3	7.8	60.7	4.4						
Section no 5					82.6	10.4	72.0	11.3	77.5	10.3	66.5	11.4	66.7	7.3						
Section no 6					89.7	5.1	88.2	7.5	86.3	6.9	84.8	8.9	75.8	6.6						

Légende: M.E. signifie marge d'erreur

"pour une direction donnée, les différences observées entre les gains moyens d'une section à l'autre ne sont pas significatives par rapport aux écarts observés entre les gains moyens des différents chaînages d'une section."

Les tests indiquent qu'il y a effectivement des différences significatives entre les gains d'une section à l'autre et cela, quelle que soit la direction.

Les tableaux de l'annexe I illustrent les différents résultats. Ces gains différents d'une section à l'autre s'expliquent en partie par le fait que les sections n'étaient pas de qualité égale avant la pose de la couche d'usure: les sections dont la qualité était la pire se sont le plus améliorées. Le tableau 23 montre la forte corrélation entre la qualité moyenne avant la pose de la couche d'usure et le gain moyen.

5.3 L'amélioration de la qualité de la route est-elle équivalente pour tous les types de route?

Comme les gains moyens varient d'une section à l'autre, il n'est pas justifié statistiquement de calculer un gain moyen pour chaque type de route et conséquemment pour l'ensemble des routes.

5.4 Comparaison entre les appareils.

Il importe, d'abord, de rappeler que le roulemètre électronique n'a pu être comparé aux autres dans cette section, faute de données. Tous les autres appareils ont donné des résultats similaires, soit une amélioration de la qualité de la route dans toutes les sections et à peu près les mêmes regroupements de sections similaires.

Tableau 23

Corrélation (en %) entre la qualité de la route avant la pose de la couche d'usure et le gain moyen par section, type de route, direction et appareil

	Mays		Mays électronique		Purd	
	Dir. 1	Dir. 2	Dir. 1	Dir. 2	Dir.1	Dir. 2
Autoroutes						
Section no 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Section no 2	91	NA	80	NA	98	NA
Section no 3	88	NA	82	NA	96	NA
Section no 4	100	100	99	96	100	99
Section no 6	90	84	77	73	97	95
Routes provinciales						
Section no 1	99	99	97	97	97	NA
Section no 2	98	99	94	95	99	NA
Section no 3	96	95	89	83	96	NA
Section no 4	99	99	97	98	99	NA
Section no 5	81	83	69	76	88	92
Routes secondaires						
Section no 1	96	93	92	91	96	NA
Section no 3	99	100	98	99	99	NA
Section no 5	99	99	97	98	99	NA
Section no 6	98	98	95	98	99	NA

Cependant, il n'existe pas de mesure nous permettant de comparer les appareils entre eux pour ce qui est de l'amélioration de la qualité de la route; en effet, les gains moyens obtenus avec chaque appareil ne sont pas dans les mêmes unités, donc ne sont pas comparables. De plus, en calculant la proportion de gain suite à la pose de la couche d'usure, on ne peut dire à prime abord quelle valeur est la plus réaliste, ce qui nous amène à parler de la valeur la plus précise, soit celle où la marge d'erreur est la plus faible.

La marge d'erreur peut être considérée comme un bon indicateur de la qualité globale de l'appareil; en effet, les marges d'erreur tiennent compte de la variabilité de l'appareil puis de la précision de l'appareil (sa sensibilité à mesurer l'uniformité de la route). Il en découle donc que, en général, le purd est le meilleur appareil, soit celui dont la mesure est la plus précise.

Conclusion

La présente étude vise à déterminer quel appareil, parmi les appareils testés, est le meilleur pour juger de la qualité des poses de couche d'usure. Des différents aspects analysés on retient les facteurs suivants.

A- Variabilité des appareils

(La variabilité est mesurée par le coefficient de variations des différentes mesures prises à un même endroit, soit sur un chaînage d'une direction)

- La variabilité d'un appareil est constante à l'intérieur d'une même section (elle est constante d'une direction à l'autre et d'un chaînage à l'autre à l'intérieur d'une même section).

- La variabilité d'un appareil n'est pas la même pour toutes les sections d'un même type de route et par le fait même pour tous les types de route.

Donc, les appareils ne mesurent pas de façon identique lorsqu'on va d'une section à l'autre. Ceci peut être la conséquence de problèmes relatifs à la façon d'utiliser les appareils, plutôt que de problèmes relatifs aux appareils eux-mêmes: nous ne pouvons en juger seulement avec les données que nous avons.

Même si, en général, la variabilité n'est pas constante d'une section à l'autre, il arrive rarement que le degré de variabilité des appareils divise les sections d'un même type de route en plus de deux groupes et le plus souvent, certaines sections se retrouvent dans les deux groupes. Ainsi, une variabilité moyenne par appareil a été calculé. Il est bien évident, cependant, que cette mesure est moins représentative de l'ensemble des sections. Après avoir testé cette valeur moyenne, il appert que le roulemètre électronique, mesure Kr, et le purd sont moins variables que les autres appareils.

B- <u>Qualité et uniformité de la route</u>

(La qualité de la route est donnée par la moyenne des mesures prises à un même endroit, soit sur un chaînage d'une direction)

- La qualité de la route sur un chaînage donné est significativement différente d'une direction à l'autre, ce qui nous amène à les considérer séparément l'une de l'autre. Par contre, cette différence est moins importante après la pose de la couche d'usure qu'avant, ce qui indique que la qualité de la route est plus similaire entre les deux directions après la pose de la couche d'usure qu'avant.

- La qualité de la route diffère d'un chaînage à l'autre à l'intérieur d'une même section et ce, quels que soient la direction et l'essai:

  - le nombre de regroupements est élevé, ce qui indique que la route n'est pas uniforme; par contre, le nombre de regroupements moins élevé à l'essai 2 qu'à l'essai 1 indique que la qualité de la route est plus uniforme après la pose de la couche d'usure qu'avant;

  - la proportion de chaînages non regroupés avec des chaînages consécutifs diminue de façon importante entre les 2 essais, ce qui indique aussi que la route est plus uniforme après la pose de la couche d'usure qu'avant;

  - la classification des chaînages de même que leur regroupement diffèrent d'un essai à l'autre, ce qui signifie que les chaînages où la qualité était la meilleure à l'essai 1 n'ont pas nécessairement la meilleure qualité à l'essai 2;

  - la variation dans la qualité de la route (l'amplitude) est beaucoup plus faible après la pose de la couche d'usure qu'avant, donc la route est plus uniforme après la pose de la couche d'usure qu'avant.

  L'annexe G illustre clairement ces faits.

Étant donné que les différents chaînages ne sont pas de même qualité, une qualité moyenne par section est plus ou moins représentative de la qualité de la section et conséquemment une qualité moyenne par type de route est plus ou moins représentative de la situation. Ces résultats moyens ont néanmoins été calculés, mais le lecteur devra les utiliser avec prudence.

(L'uniformité de la route est mesurée par le coefficient de variation de la qualité moyenne de chaque chaînage-direction).

- Les résultats obtenus montrent que les deux appareils mays produisent des estimations équivalentes mais différentes des autres appareils.

- Le roulemètre électronique, mesure Kr, et le purd donnent également des estimations équivalentes; ces deux appareils perçoivent la route plus uniforme que les autres appareils.

- Le roulemètre électronique, mesure sigma, perçoit la route beaucoup moins uniforme que tous les autres appareils.

Il existe une certaine corrélation linéaire entre la mesure de l'uniformité de chaque section et la mesure de la variabilité de chaque appareil.

C- **Amélioration de la qualité de la route (gain de l'uni)**

(Le gain de l'uni est mesuré par la différence des mesures moyennes de chaque chaînage-direction entre les deux essais).

Comme la qualité de la route diffère d'une direction à l'autre, le gain est aussi mesuré pour les deux directions séparément.

Il importe d'abord de noter que le roulemètre électronique n'a pas été testé au 2^{e} essai, donc il n'en sera pas question ici.

En général, il y a eu amélioration de la qualité de la route sur chaque chaînage-direction.

Comme les unités de chaque appareil ne sont pas équivalentes, les gains ont été calculés en pourcentage; tous les appareils ont donné des gains appréciables et celui-ci est directement relié à la qualité de la route avant la pose de la couche d'usure (corrélation très forte entre les deux mesures).

Comme pour la qualité de la route, les gains ne sont pas équivalents pour toutes les sections.

A priori, on ne peut quantifier le gain véritable suite à la pose de la couche d'usure, on ne peut donc pas comparer les appareils sur cet aspect, soit les gains moyens; par contre, les marges d'erreur sur ces gains sont un indicateur de la qualité de l'appareil. Celles-ci tiennent compte d'une part de la variabilité de l'appareil puis de sa sensibilité à mesurer l'uniformité de la route. Des trois appareils testés, le purd semble le meilleur appareil, soit celui dont la mesure est la plus précise.

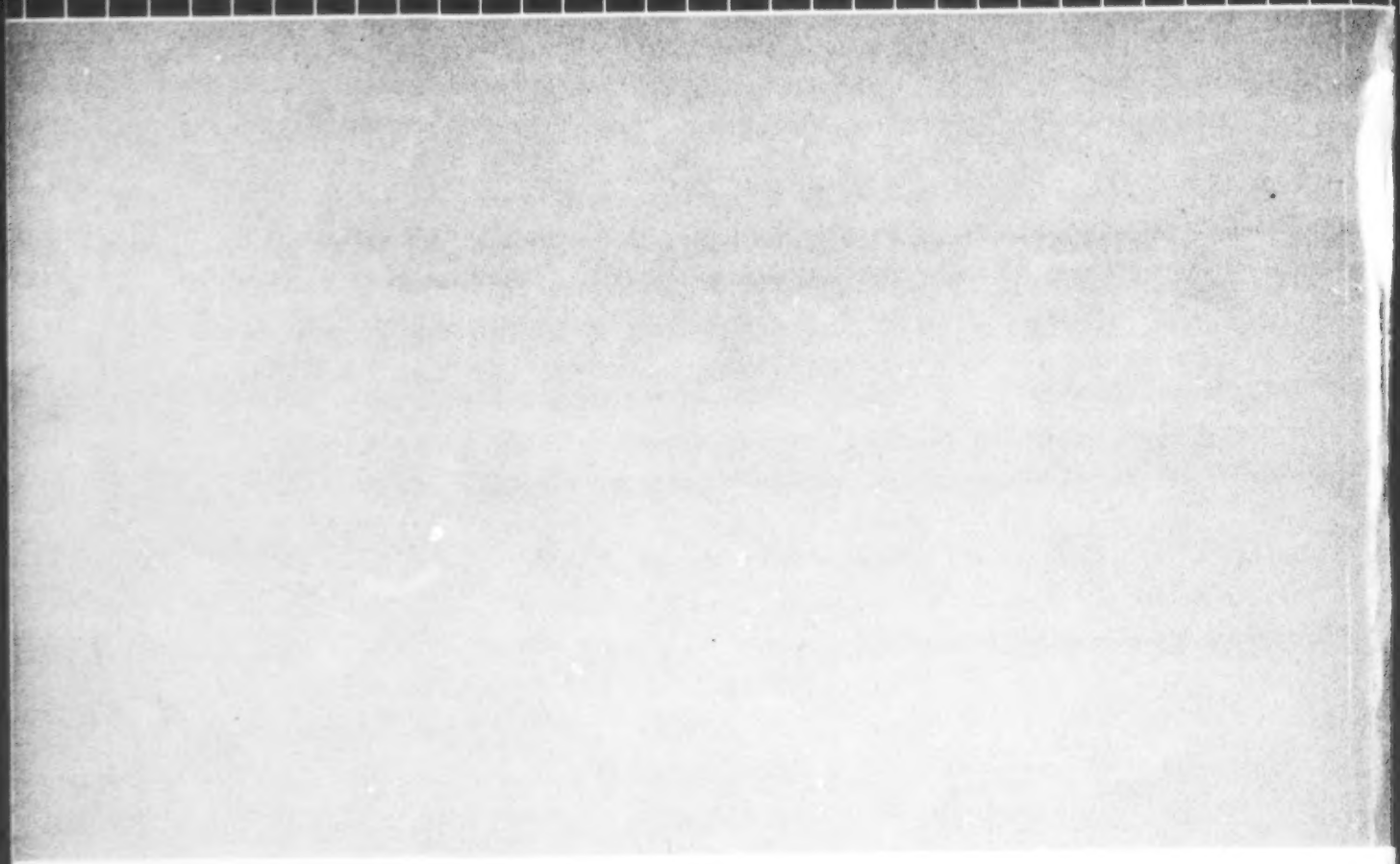
Conséquemment à ces faits, il appert que:

- **le roulemètre électronique, mesure Kr, et le purd sont les appareils les moins variables tandis que le roulemètre électronique, mesure sigma, est l'appareil le plus variable. A noter cependant qu'aucun des appareils n'a une variabilité constante pour l'ensemble des sections; une attention particulière doit être apportée aux différents facteurs pouvant influencer celle-ci, par exemple lors de la recalibration des appareils;**

- **le roulemètre électronique, mesure Kr, et le purd perçoivent la route de la même façon (estimations équivalentes de l'uniformité de la route) et ces appareils la perçoivent plus uniforme que les autres appareils; le roulemètre électronique, mesure sigma, la perçoit la moins uniforme;**

et finalement, pour ce qui est du gain de l'uni, l'indicateur considéré est la marge d'erreur; le purd donne les meilleurs résultats. A noter que le roulemètre électronique n'a pu être testé pour cet aspect. Il aurait été intéressant de voir si les résultats de cet appareil, mesure Kr, demeuraient semblable aux résultats du purd.

Enfin, il importe de souligner que d'autres facteurs peuvent avoir eu de l'influence sur les différents aspects analysés, comme la période de temps écoulé entre la dernière pose de couche d'usure et le moment où la mesure a été prise. Il aurait été intéressant de mesurer l'impact de cette variable sur la qualité de la route, conséquemment sur l'amélioration de la qualité de la route et sur le degré d'uniformité des routes. L'étude ne dit pas non plus si différents appareils de même catégorie ont la même variabilité. Pour ce faire, il aurait fallu recueillir les données avec au moins deux appareils de chaque catégorie.



Gouvernement du Québec
Ministère
des Transports